تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۹، شماره ۴، مهر و آبان ۱۳۹۷ (ص ۸۲۰-۸۰۷) **DOI:** 10.22059/ijswr.2018.240518.667746

تعیین مقیاس نقشه بهینه برای استفاده در مدل‌سازی هیدرولیکی سیلاب (با رویکرد اقتصادی-هیدرولیکی)

اصغر عزیزیان

استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

(تاریخ دریافت: ۵/ ۶/ ۱۳۹۶- تاریخ بازنگری: ۱۶/ ۱۰/ ۱۳۹۶- تاریخ تصویب: ۲۳/ ۱۰/ ۱۳۹۶)

چکیده

یکی از مهم‌ترین روش‌های معرفی هندسه رودخانه استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEMs) با ساختار رستری می‌باشد. از جمله مهم‌ترین مواردی که بر کیفیت و کمیت یک DEM تأثیرگذار هستند می‌توان به توان تفکیک DEM و همچنین مقیاس نقشه توپوگرافی مورد استفاده برای ساخت آن اشاره نمود. در پژوهش حاضر و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس‌های مختلف، میزان حساسیت مدل هندسی سطح زمین و متعاقب آن پارامترهای هیدرولیکی شبیه‌سازی شده توسط مدل یک‌بعدی HEC-RAS در دو رودخانه با ویژگی‌های متفاوت، مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین بررسی اثر توان تفکیک DEM بر کیفیت مقاطع عرضی و همچنین پارامترهای هیدرولیکی سیلاب از دیگر اهداف این تحقیق می‌باشد. نتایج بدست آمده در دو رودخانه سجاس‌رود و سرباز حاکی از آن است که استفاده از نقشه‌های کوچک مقیاس به جای نقشه‌های بزرگ مقیاس علاوه بر کاهش قابل توجه در هزینه‌های نقشه‌برداری تأثیر چندان زیادی بر پارامترهای هیدرولیکی شبیه‌سازی شده ایجاد نمی‌نمایند. به عنوان مثال استفاده از نقشه‌های ۱/۲۰۰۰ و ۱/۵۰۰۰ به جای نقشه‌های ۱/۱۰۰۰ و ۱/۲۰۰۰ در دو رودخانه سجاس‌رود و سرباز موجب ایجاد کمتر از ۸ درصد خطا در پهنه سیلاب می‌شود و این در حالی است که هزینه برداشت نقشه در هر دو رودخانه به طور متوسط بیش از ۷۷٪ کاهش یافته است. ارزیابی اثر توان تفکیک DEM بر پارامترهای هیدرولیکی سیلاب در رودخانه‌های مورد مطالعه نیز حاکی از آن است که کاهش توان تفکیک DEM موجب افزایش تراز سطح آب و نیز پهنه سیلاب گردیده است. البته لازم به ذکر است که میزان تأثیر توان تفکیک DEM بر رقوم سطح آب بسیار کمتر از تأثیر آن بر پهنه سیلاب می‌باشد. به عبارت بهتر چنانچه هدف مدل‌سازی هیدرولیکی تنها برآورد تراز سطح آب باشد، توان تفکیک از اهمیت بالائی برخوردار نیست و لذا می‌توان از مدل‌های رقومی با ابعاد سلولی بزرگ‌تر نیز استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: HEC-RAS، پهنه سیلاب و تراز سطح آب، مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEMs)، مقیاس نقشه توپوگرافی

مقدمه

نقشه توپوگرافی یکی از مهم‌ترین داده‌های موردنیاز مدل‌های هیدرولیکی بشمار می‌آید و از همین رو عدم انتخاب یک مقیاس مناسب برای آن می‌تواند نتایج شبیه‌سازی‌های هیدرولیکی را به شدت تحت تأثیر خود قرار دهد (Merwade *et al*., 2015). مقیاس نقشه نشان‌دهنده تراکم نقاط برداشت شده برای تهیه یک نقشه می‌باشد و هرچه تراکم نقاط بیشتر باشد نقشه مورد نظر بزرگ مقیاس می‌باشد (Azizian and Shokoohi, 2015a). متناسب با نوع و ابعاد مطالعات هیدرولیکی بایستی مقیاس مناسبی اختیار شود که به واسطه آن بتوان درک صحیحی از وضعیت توپوگرافی منطقه بدست آورد. به عبارت دیگر نوع پدیده مورد بررسی در تعیین مقیاس نقشه از اهمیت زیادی برخوردار است (Brandt, 2005; Cook and Merwade, 2009).

در حال حاضر در بسیاری از مدل‌های هیدرولیکی از مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEMs) که حاوی اطلاعات توپوگرافی محدوده موردنظر می‌باشند، برای بیان هندسه رودخانه استفاده بعمل می‌آید. از مهم‌ترین مواردی که بر کیفیت و کمیت DEMها و متعاقب آن دقت مدل هندسی تأثیرگذار می‌باشد، توان تفکیک DEM و مقیاس نقشه مورد استفاده برای ساخت آن می‌باشد (Vaze *et al*., 2010; Azizian and Shokoohi, 2015a). تاکنون مطالعات مختلفی به ویژه در زمینه بررسی تأثیر توان تفکیک مدل‌های رقومی ارتفاعی (Werner, 2001; Haile and Rientjes, 2005; Sanders, 2007; Cook and Merwade, 2009; Azizian and Shokoohi, 2015b; Saksena and Merwade, 2015)، میزان خطای ناشی از روش‌های مختلف ساخت DEM (Smith *et al*., 2004; Chaplot *et al*., 2006; Fisher and Tate, 2006; Darnell *et al*., 2008; Heritage *et al*., 2009; Aguilar *et al*.,

* نویسنده مسئول: Azizian@eng.ikiu.ac.ir

2010; Azizian and Shokoohi, 2015a) و همچنین اثر کاربرد منابع ارتفاعی مبتنی بر سنجش از دور (Hodgson *et al*., 2003; Wilson and Atkinson, 2005; Casas *et al*., 2006; Schumann *et al*., 2008; Tarekegn *et al*., 2010; Gonga *et al*., 2011; Moya *et al*., 2013; Azizian and Shokoohi, 2015a; Laks *et al*., 2017) بر عملکرد مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی به انجام رسیده است. Haile and Rientjes (2005) نیز اثر توان تفکیک DEM را بر پهنه سیلاب شبیه‌سازی شده توسط مدل دوبعدی SOBEK در یک حوضه شهری در کشور هندوراس مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در DEM با بزرگترین ابعاد سلولی (۱۵ متر) حداکثر پهنه سیلاب حاصل شده و همچنین شرایط مرزی پائین‌دست تأثیر معنی‌داری بر پهنه سیلاب ندارد. میانگین‌گیری مقادیر ارتفاعی واقع در سطوح کوچک مقیاس منجر به عدم استخراج صحیح مدل هندسی شده و همین مسئله منجر به ایجاد پهنه سیلاب بزرگتری شده است. Sanders (2007) کارائی چهارDEM مختلف (LIDAR[1]، SRTM[2]، IFSAR[3] و NED[4]) را در برآورد پهنه سیلاب رودخانه سانتا کلارا[5] تگزاس مورد ارزیابی قرار داد. نتایج بدست آمده نشان داد که DEMهای LIDAR به علت دارا بودن توان تفکیک مناسب و همچنین دقت بالا در برآورد تغییرات ارتفاعی بستر رودخانه، از قابلیت بسیار زیادی در تعیین پهنه‌های سیلاب برخوردار می‌باشند. همچنین DEMهای SRTM به علت دارا بودن خطاهای ناشی از عملکرد سنجده‌های راداری نتایج ضعیف و غیر دقیقی از پهنه سیلاب را بدست می‌دهند. Moya *et al*. (2013) با استفاده از روش مونت- کارلو نشان داد که عدم قطعیت ناشی از مقادیر ارتفاعی بدست آمده از DEMهای SRTM در رودخانه تیمیس- بِگا[6] (کشور رومانی) تأثیر قابل توجهی بر پهنه سیلاب خروجی از مدل هیدرولیکی HEC-RAS ایجاد می‌نماید. Ali *et al*. (2015) با ارزیابی چهار منبع ارتفاعی SRTM، ASTER، LIDAR و نقشه‌های توپوگرافی بدست آمده از برداشت‌های زمینی بر عملکرد مدل‌های یک‌بعدی HEC-RAS و دوبعدی LISFLOOD در رودخانه جوهور[7] واقع در کشور مالزی به این نتیجه رسیدند که استفاده از منابع ارتفاعی مختلف تأثیر بسیار معنی‌داری بر خروجی مدل‌های هیدرولیکی دارد. همچنین محاسبات صورت گرفته نشان داد که اثر منبع تهیه DEM نسبت به توان تفکیک DEM تأثیر به مراتب بیشتری بر پارامترهای هیدرولیکی شبیه‌سازی شده دارد. Saksena and Merwade (2015) نیز با بررسی اثر توان تفکیک و دقت ارتفاعی DEM بر پهنه سیلاب به این نتیجه رسیدند که بین دو فاکتور تراز سطح آب و پهنه سیلاب با توان تفکیک DEM یک ارتباط خطی وجود دارد. همچنین آنها با استفاده از این رابطه خطی، مدل‌های رقومی ارتفاعی با توان تفکیک پائین را اصلاح و برای شبیه‌سازی مؤلفه‌های سیلاب استفاده نمودند.

بررسی مطالعات انجام شده حاکی از آن است که علی‌رغم اهمیت بسیار زیاد مقیاس نقشه تاکنون تحقیقات بسیار کمی در زمینه بررسی اثر مقیاس نقشه توپوگرافی بر کیفیت مدل هندسی و متعاقب آن عملکرد مدل‌های هیدرولیکی صورت گرفته است. در حال حاضر و در بسیاری از پروژه‌های موجود در بخش مهندسی رودخانه (به ویژه مطالعات ساماندهی، تعیین حد بستر و حریم رودخانه‌ها، پهنه‌بندی سیلاب و...) در سطح کشور عمدتاً از نقشه‌های با مقیاس ۱/۱۰۰۰ و تا حدودی ۱/۲۰۰۰ استفاده بعمل می‌آید در حالی که کمترین توجهی به نوع مدل عددی مورد استفاده (یک‌بعدی، دوبعدی و حتی سه‌بعدی) و کیفیت و مقیاس نقشه‌های توپوگرافی صورت نمی‌گیرد. به عنوان مثال، در مطالعات جامع مهندسی رودخانه استان مازندران که در آن وضعیت هیدرولیکی بیش از ۴۰ رودخانه مورد بررسی قرار گرفته است عمدتاً از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۱۰۰۰ برای این منظور استفاده شده است (طرح جامع رودخانه‌های مازندران، ۱۳۹۶). برداشت نقشه‌های بزرگ مقیاسی همچون ۱/۱۰۰۰ علاوه بر زمان‌بر بودن در رودخانه‌های بزرگ که دارای طول قابل توجهی هستند، هزینه‌های سرسام‌آوری را بر مطالعات مهندسی رودخانه تحمیل می‌نماید. هزینه تهیه یک نقشه توپوگرافی با کاهش مقیاس نقشه (بزرگ شدن مخرج کسر) رابطه کاملاً مستقیمی دارد (Laks *et al*., 2017). به عنوان مثال تهیه یک نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱/۱۰۰۰ و ۱/۲۰۰۰ برای یک کیلومتر از رودخانه‌ای با پهنای باند ۲۰۰ متر به ترتیب در حدود ۲/۶۱ و ۰/۷۲ میلیون تومان هزینه در بر خواهد داشت (آئین‌نامه خدمات نقشه‌برداری، ۱۳۹۶). سؤالاتی که در اینجا مطرح می‌باشند این است که به راستی آیا در تمامی رودخانه‌ها و مطالعات مهندسی رودخانه به نقشه‌های بزرگ مقیاسی مانند ۱/۱۰۰۰ نیاز می‌باشد یا خیر؟ آیا نوع مدل هیدرولیکی مورد استفاده برای شبیه‌سازی جریان، خود نمی‌تواند یکی از عوامل تأثیرگذار بر مقیاس نقشه ورودی باشد؟ آیا هدف مدل‌سازی نمی‌تواند به عنوان یکی از عوامل تعیین کننده در مقیاس نقشه مورد نیاز لحاظ گردد؟ همچنین

1 . Light Detection and Ranging
2 . Shuttle Radar Topography Mission
3 . IFSAR
4 . National Elevation Dataset
5 . Santa Clara, Texas
6 . Timis-Bega River, Romania
7 . Johor River, Malaysia

آیا برای رودخانه‌های واقع در مناطق دشتی و یا کوهستانی به یک نقشه با مقیاس یکسان نیاز می‌باشد؟ تمامی این موارد و سؤالات بسیار دیگر از جمله نکاتی هستند که بسیاری از محققین و مهندسین را با چالشی اساسی روبرو نموده است و به جرات می‌توان ادعا نمود که تاکنون پاسخی مناسب به این سوالات داده نشده است. لذا هدف و نوآوری اصلی پژوهش حاضر پاسخ به سؤالات فوق و بررسی میزان حساسیت مؤلفه‌های هیدرولیکی سیلاب (مانند پهنه سیلاب، تراز سطح آب) نسبت به مقیاس نقشه توپوگرافی می‌باشد. انجام این پژوهش می‌تواند علاوه بر تعیین مقیاس مناسب برای مدل‌سازی هیدرولیکی جریان در رودخانه‌ها، هزینه انجام مطالعات مهندسی رودخانه را تا حد قابل توجهی کاهش دهد. همچنین بررسی اثر توان تفکیک مدل‌های رقومی ارتفاعی بدست آمده از نقشه‌های با مقیاس‌های مختلف بر عملکرد مدل هیدرولیکی HEC-RAS از دیگر اهداف این پژوهش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

فرآیند مدل‌سازی هیدرولیکی سیلاب

مدل یک‌بعدی HEC-RAS توسط اداره مهندسی ارتش آمریکا[1] توسعه یافته و علاوه بر شبیه‌سازی جریان، توانایی مدل‌سازی انتقال رسوب، کیفیت آب و همچنین شبیه‌سازی جریان غیرماندگار را دارا می‌باشد (USACE, 2010). توانایی این مدل‌سازی هیدرولیک جریان در بسیاری از پروژه‌ها و مطالعات انجام شده در سطح کشور و همچنین کشورهای مختلف دنیا به اثبات رسیده است. همچنین ارتباط آن با GIS جهت دریافت مدل هندسی و ارسال خروجی‌های هیدرولیکی از مزایایی است که در کمتر مدل عددی رایگان موجود می‌باشد. اخیراً به این مدل قابلیت‌هایی افزوده شده که آن را در حد یک مدل دوبعدی بسیار توانمند ارتقا داده است. بر خلاف بسیاری از مدل‌های هیدرولیکی، نسخه جدید مدل HEC-RAS نیز همچنان رایگان بوده و علاوه بر مدل‌سازی جریان‌های ماندگار، غیرماندگار، شبه غیرماندگار، سازه‌های تقاطعی و جانبی به صورت یک‌بعدی، توانایی لازم برای مدل‌سازی دوبعدی جریان به ویژه در سیلاب‌دشت‌ها را نیز دارا می‌باشد. این مدل توانایی حل معادلات سنت- ونانت را در قالب دو فرم موج دینامیک و موج دیفیوژن برای محققین فراهم می‌نماید. همچنین پشتیبانی از انواع داده‌های رستری (مانند Float، Tiff و adf)، امکان دسترسی به منابع مختلف نقشه مانند Google Earth، Bing Satellite و NASA USDA NAIP Infrared، استفاده از هسته‌های[2] مختلف پردازنده مرکزی[3] (موجب استفاده حداکثری از پتانسیل رایانه برای اجرای مدل عددی خواهد شد) از دیگر توانائی‌های این مدل می‌باشد. همانند تمامی مدل‌های یک‌بعدی، در این مدل عددی نیز برای معرفی هندسه بستر و سواحل رودخانه از مقاطع عرضی استفاده می‌شود. در حال حاضر برای استخراج خودکار مقاطع عرضی از روی مدل‌های رقومی ارتفاعی در محیط GIS، الحاقیه‌ای به نام HEC-GeoRAS وجود دارد که در کمترین زمان ممکن مدل هندسی مورد نیاز مدل هیدرولیکی HEC-RAS را فراهم می‌نماید. پس از استخراج مدل هندسی رودخانه در مقیاس‌های مختلف، بایستی علاوه بر تنظیمات مربوط به ضریب زبری جریان مقادیر دبی مورد استفاده برای شبیه‌سازی نیز مشخص شود. برای شبیه‌سازی جریان در تمامی رودخانه‌ها از دبی با دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله استفاده شده است. علت انتخاب این مقادیر این است که در دبی‌های با دوره بازگشت کمتر احتمال پخش جریان در سیلاب‌دشت رودخانه‌ها بسیار کم بوده و لذا امکان ارزیابی هرچه بهتر مقیاس نقشه به‌خوبی میسر نخواهد بود (Saksena and Merwade, 2015). در نهایت پس از اجرای مدل، نتایج هیدرولیکی حاصل از مقیاس‌های مختلف با مقادیر حاصل از نقشه‌های مبنا (نقشه ۱/۱۰۰۰ در رودخانه سجاس‌رود و ۱/۲۰۰۰ در رودخانه سرباز) با یکدیگر مقایسه خواهند شد. همچنین لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر عمده تحلیل-های هیدرولیکی مورد بحث با استفاده از نسخه ۴/۱ مدل HEC-RAS انجام شده و تنها در بخشی از تحقیق و برای نشان دادن میزان اختلاف بین مدل‌های یک و دوبعدی از نسخه دوبعدی مدل تحت عنوان ۵/۰/۳ نیز استفاده شده است.

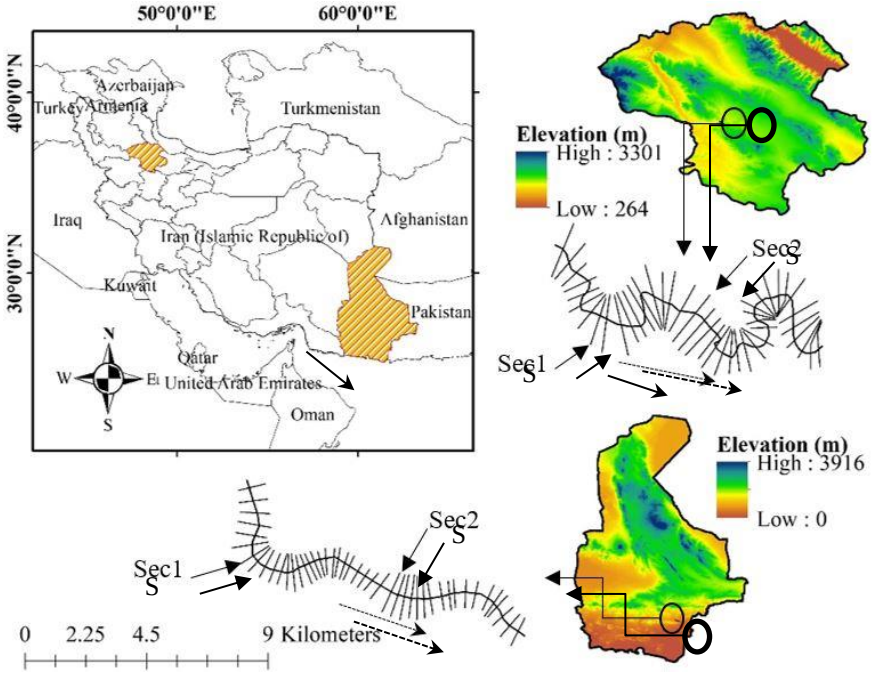
مشخصات رودخانه‌های مورد مطالعه

برای ارزیابی میزان حساسیت مدل هندسی و متعاقب آن مدل هیدرولیکی، نقشه‌های با مقیاس‌های مختلف دو رودخانه به نام‌های سرباز و سجاس‌رود که دارای شرایط کاملاً متفاوتی هستند، انتخاب گردیدند. رودخانه سرباز رودخانه‌ای عریض با سواحلی مرتفع و با مقطع U شکل می‌باشد که در جنوب استان سیستان و بلوچستان واقع شده است. رودخانه سجاس‌رود نیز از رشته کوه‌های آق قلعه در استان زنجان سرچمشه گرفته و با عبور از مناطق کوهستانی که عمدتاً دارای مقاطع V شکل با

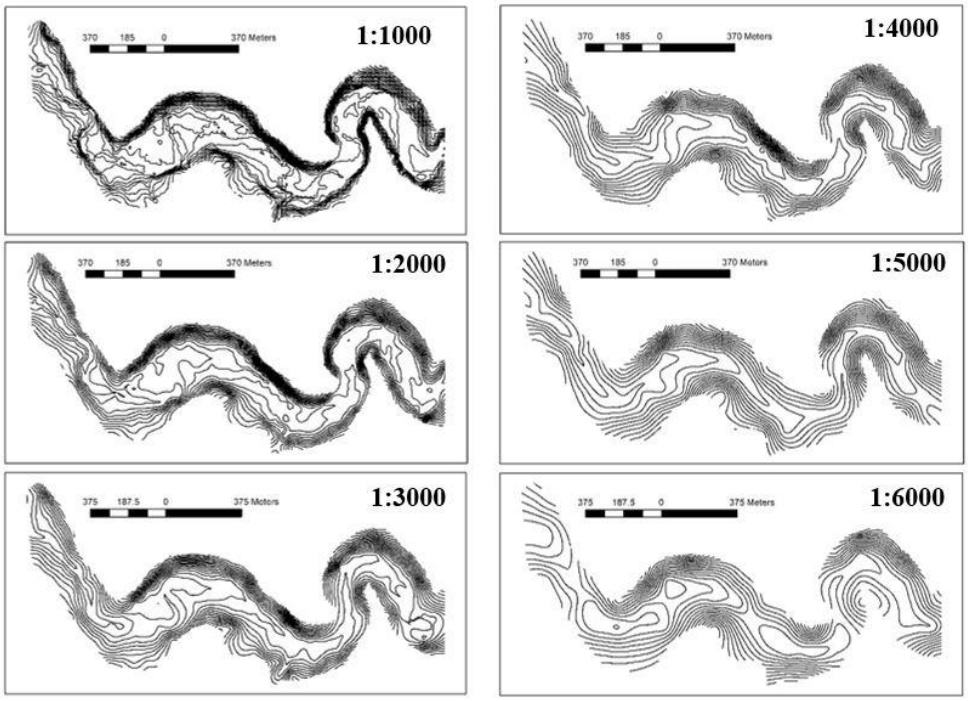
1. US Army Corps of Engineers (USACE)

2. Cores
3. CPU

سواحل پوشیده از گیاهان متراکم می‌باشند، به سد گلابر وارد می‌شود. با توجه به ابعاد و اندازه‌های هر کدام از رودخانه‌های مذکور و با استفاده از دوربین توتال استیشن لایکا (TS09 Plus) نقشه‌های با مقیاس‌های ۱/۱۰۰۰ تا ۱/۱۰۰۰۰ تهیه گردید. همچنین لازم به ذکر است که با توجه به ابعاد کوچکتر رودخانه سجاس‌رود نسبت به رودخانه سرباز تنها از نقشه‌های با مقیاس ۱/۱۰۰۰ تا ۱/۶۰۰۰ برای استخراج مقاطع عرضی و شبیه‌سازی سیلاب استفاده بعمل آمده است. در جدول (۱) مشخصات مربوط به هر کدام از رودخانه‌های مزبور ارائه شده است. در شکل‌های (۱. الف و ۱. ب) نیز به ترتیب نمائی از موقعیت جغرافیایی رودخانه‌های مورد مطالعه و نقشه‌های توپوگرافی تهیه شده در مقیاس‌های مختلف (برای رودخانه سجاس‌رود) نشان داده شده است. در جدول (۲) نیز شکل و مشخصات دوربین توتال استیشن مورد استفاده برای نقشه‌برداری، ارائه شده است.



شکل ۱-الف- موقعیت جغرافیایی رودخانه‌های مورد مطالعه



شکل ۱-ب- نقشه توپوگرافی تهیه شده در مقیاس‌های مختلف (رودخانه سجاس‌رود)

جدول ۱. مشخصات هندسی رودخانه‌ها

نام رودخانه	طول رودخانه (متر)	عرض متوسط رودخانه (متر)	شیب طولی بستر (٪)	تعداد نقاط برداشت شده در هر مقیاس	مقیاس نقشه‌های مورد استفاده
سرباز-سیستان و بلوچستان	۱۳۰۰۰	۱۰۵۵	۰/۵	۲۷۰۰-۶۰۰	2K, 3K, 4K, 5K, 7K and 10K
سجاس-زنجان	۴۰۰۰	۸۵	۳/۶	۱۳۰۰-۲۰۰	1K-6K

* پسوند K در جدول مذکور به معنی ۱۰۰۰ می‌باشد.

جدول ۲. مشخصات فنی دوربین توتال استیشن لایکا TS09 Plus

دقت	۱ تا ۴ ثانیه	حافظه	۱۰۰۰۰۰ نقطه	
کوچکترین زاویه قابل برداشت	۱ ثانیه	برد لیزری	۱۰۰۰ متر	
دقت طول‌یابی	۱/۵ میلیمتر	برد فاصله با تک منشور	۳۵۰۰ متر	

نتایج

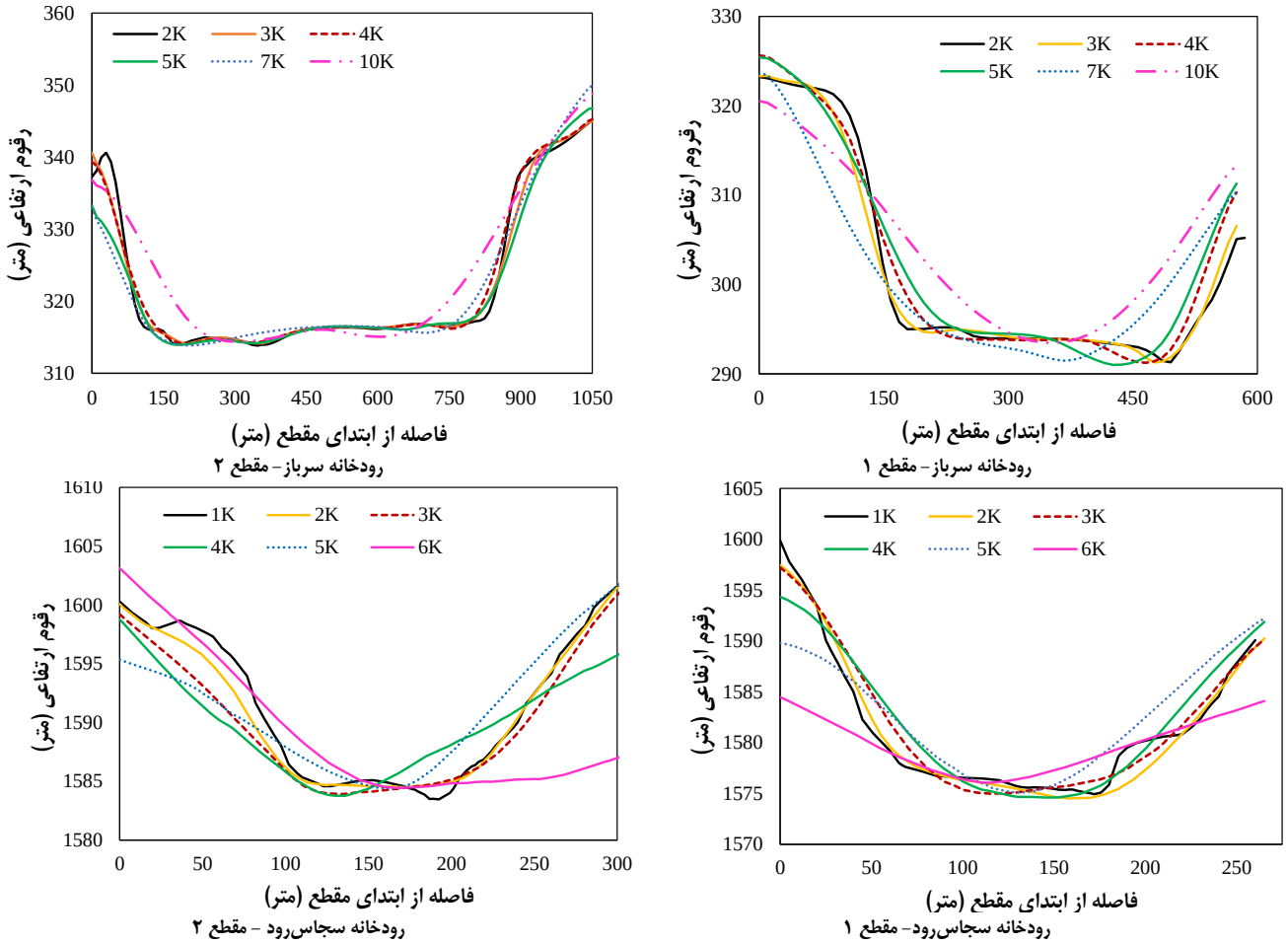
ارزیابی اثر مقیاس نقشه بر کیفیت مقاطع عرضی

در این پژوهش با توجه به ابعاد و اندازه‌های رودخانه مورد بررسی از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس‌های مختلف استفاده بعمل آمد. لازم به ذکر است که در دو رودخانه سرباز و سجاس‌رود به ترتیب از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس‌های 2K و 1K به عنوان نقشه مبنا جهت ارزیابی عملکرد نقشه‌های با مقیاس‌های مختلف و نیز بررسی عملکرد مدل هیدرولیکی استفاده شده است. نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت مقاطع عرضی بدست آمده از مقیاس‌های مختلف حاکی از آن است که در رودخانه سرباز اختلاف بین نقشه 5K و نقشه مبنا نسبتاً ناچیز بوده و شکل مقطع بدست آمده از هر دو مقیاس تقریباً مشابه یکدیگر می‌باشد (شکل ۳). از طرفی همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، با کاهش مقیاس نقشه (افزایش مخرج کسر) بسیاری از جزئیات مربوط به اطلاعات توپوگرافی رودخانه قابل نمایش نبوده و شکل مقطع بدست آمده با واقعیت موجود بسیار متفاوت می‌باشد. محاسبات صورت گرفته در رودخانه سجاس‌رود نشان می‌دهد که با افزایش مقیاس نقشه تا 6K، سطح مقطع جریان عبوری و رقوم ارتفاعی سواحل به ترتیب تا حدود ۳۹/۸ و ۴۱/۷ درصد کاهش می‌یابند و این در حالی است که رقوم کف بستر رودخانه در عمده مقاطع افزایش می‌یابد. عدم برآورد صحیح ارتفاع سواحل و همچنین رقوم ارتفاعی بستر رودخانه منجر به ایجاد خطاهای معنی‌داری در برآورد پارامترهایی همچون پهنه و تراز سیلاب خواهد شد. نتایج بدست آمده گویای این مطلب است که در رودخانه‌های عریضی همچون سرباز استفاده از نقشه‌های کوچک مقیاسی مانند 5K خطای چندان زیادی در کیفیت و کمیت مدل هندسی موردنیاز مدل هیدرولیکی ایجاد نمی‌نماید و لذا می‌توان این نقشه‌ها را جایگزین نقشه‌های بزرگ مقیاس (و هزینه‌بر) نمود. یکی از عواملی که موجب می‌شود در رودخانه‌های عریضی همچون رودخانه سرباز عملکرد دو نقشه 2K و 5K اختلاف چندان با یکدیگر نداشته باشند، محتوی اطلاعاتی دو نقشه می‌باشد. به عبارت بهتر برای ترسیم یک مقطع عرضی در چنین رودخانه‌ای، هر دو نقشه مذکور از کفایت اطلاعاتی لازم برای نشان دادن روند تغییرات ارتفاعی نقاط واقع در بستر و سواحل رودخانه برخوردار می‌باشند. این مسئله در رودخانه کوچکی همچون رودخانه سجاس‌رود کمی متفاوت می‌باشد و محتوی اطلاعاتی با تغییر مقیاس نقشه با شدت بیشتری تغییر می‌نماید. بررسی کیفیت (مقدار تغییر در شکل مقطع عرضی و رقوم ارتفاعی سواحل رودخانه) مقاطع عرضی بدست آمده در رودخانه سجاس‌رود نشان می‌دهد که تا مقیاس 3K، اختلاف چندان زیادی بین نتایج حاصل از نقشه مبنا و 3k وجود ندارد. بر خلاف رودخانه‌های عریض، در رودخانه‌های کوچکی همچون سجاس‌رود آزادی عمل کمتری در انتخاب نقشه‌های کوچک مقیاس وجود داشته و لذا نمی‌توان از نقشه‌هایی همچون 5K استفاده نمود. زیرا در رودخانه‌های کوچک که دارای عرض کمتری هستند احتمال از دست رفتن جزئیات ارتفاعی در مقیاس‌های کوچک بسیار بالا می‌باشد. بررسی شکل (۳) به خوبی نشان می‌دهد که کاهش مقیاس نقشه و یا به عبارت بهتر کاهش تراکم نقاط برداشت شده، موجب عدم استخراج صحیح سواحل رودخانه شده و همین مسئله بر مقادیر هیدرولیکی سیلاب مانند پهنه سیلاب و تراز سطح آب تأثیرگذار خواهد بود.

اثر مقیاس نقشه بر عملکرد مدل هیدرولیکی

برای بررسی اثر مقیاس نقشه بر پارامترهای هیدرولیکی سیلاب

مدل HEC-RAS در هر مقیاس اجرا و خروجی‌های هیدرولیکی شبیه‌سازی شده با مقادیر متناظر بدست آمده از نقشه مبنا مقایسه گردید تا میزان اختلاف بین دو مقیاس متفاوت حاصل گردد. در شکل (۴) متوسط میزان اختلاف (متوسط قدر مطلق اختلافات موجود در تمامی مقاطع مورد بررسی) بین پهنه سیلاب شبیه‌سازی در مقیاس‌های مختلف نسبت به نقشه مبنا برای رودخانه‌های سجاس‌رود و سرباز نشان داده شده است.



شکل ۳- مقاطع عرضی بدست آمده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس‌های متفاوت

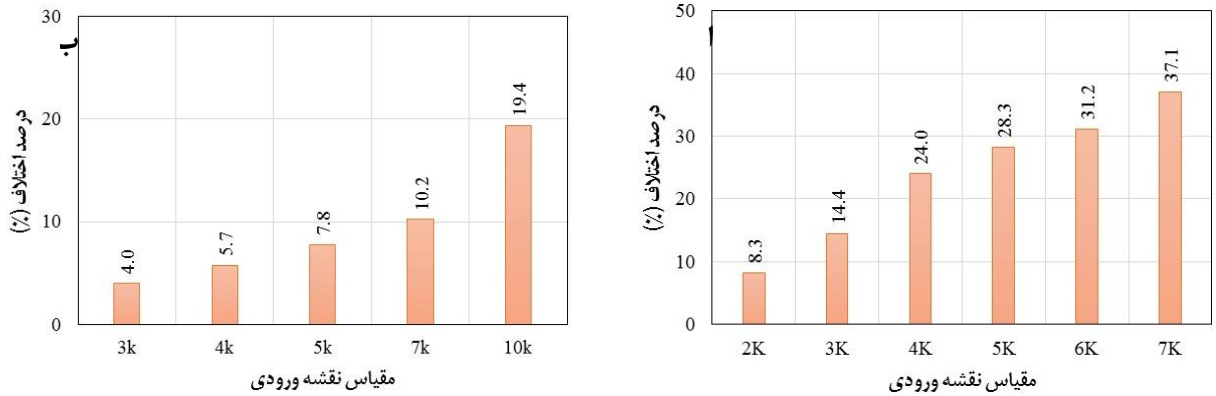
لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر در دو رودخانه سجاس‌رود و سرباز به ترتیب از ۴۴ و ۴۵ مقطع عرضی استفاده گردید که در هر کدام از آنها ابتدا قدر مطلق اختلاف نسبی (طبق رابطه ۱) پارامترهای هیدرولیکی بدست آمده از کاربرد دو نقشه با مقیاس مختلف محاسبه گردید و سپس برای مقایسه بهتر، متوسط آن در طول بازه مطالعاتی گزارش گردید.

$$ARE = \frac{P_{sim} - P_{base}}{P_{base}} \times 100 \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

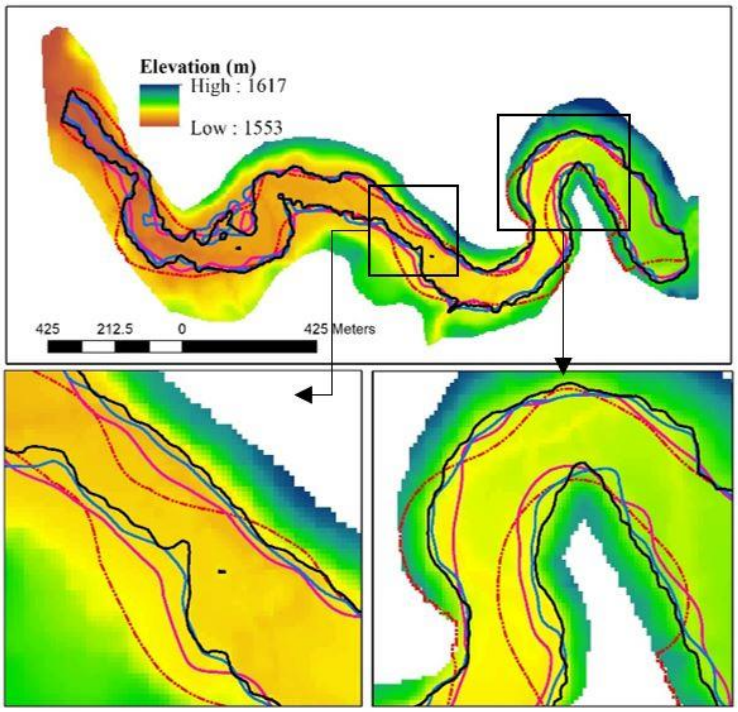
در رابطه فوق، P_{sim}: مقدار پارامتر بدست آمده در مقیاس موردنظر و در مقطع مشخص، P_{base}: مقدار پارامتر بدست آمده در مقیاس مبنا و در مقطع مشخص و ARE: قدر مطلق اختلاف بین دو پارامتر در دو نقشه مختلف و در مقطع موردنظر می‌باشند.

همان‌طور که در شکل (۴. الف) نشان داده شده است در رودخانه سجاس‌رود انتخاب مقیاس بین ۱/۲۰۰۰ تا ۱/۳۰۰۰ منجر به ایجاد اختلافی کمتر از ۱۰٪ (نسبت به نقشه مبنا) در پهنه سیلاب می‌گردد. بر خلاف رودخانه مزبور، نتایج بدست آمده در رودخانه سرباز نشان می‌دهد که چنانچه نقشه توپوگرافی موردنیاز ۱/۵۰۰۰ اختیار شود، اختلاف بین این مقیاس و نقشه مبنا در مدل‌سازی پهنه سیلاب کمتر از ۸٪ خواهد بود. علت اصلی این اختلاف کم در پهنه سیلاب شبیه-سازی شده توسط دو نقشه با مقیاس متفاوت، محتوی اطلاعاتی هر کدام از آنها می‌باشد که در بخش قبلی بدان پرداخته شد. به عبارت بهتر هرچه محتوی اطلاعاتی دو نقشه توپوگرافی (که از مهم‌ترین ورودی‌های مدل‌های هیدرولیکی بشمار می‌آیند) به یکدیگر نزدیک باشد، مدل هندسی بدست آمده از هر دو نقشه و

متعاقب آن خروجی حاصل از مدل هیدرولیکی اختلاف چندان زیادی با هم نخواهند داشت. لذا برای برآورد پهنه‌های سیلاب نیازی به استفاده از نقشه‌های با مقیاس بزرگ نمی‌باشد و می‌توان نقشه‌های کوچک مقیاس که نیازمند زمان و هزینه کمتری هستند، استفاده نمود. همچنین برای بهتر نشان دادن اثر مقیاس نقشه بر تغییرات مکانی پهنه سیلاب شبیه‌سازی شده توسط مدل، شکل (۵) نیز تهیه گردید که به خوبی مسئله مقیاس را به تصویر کشیده است.



شکل ۴. میزان اختلاف بین پهنه سیلاب شبیه‌سازی در مقیاس‌های مختلف نسبت به نقشه مبنا (الف) سجاس‌رود (ب) سرباز



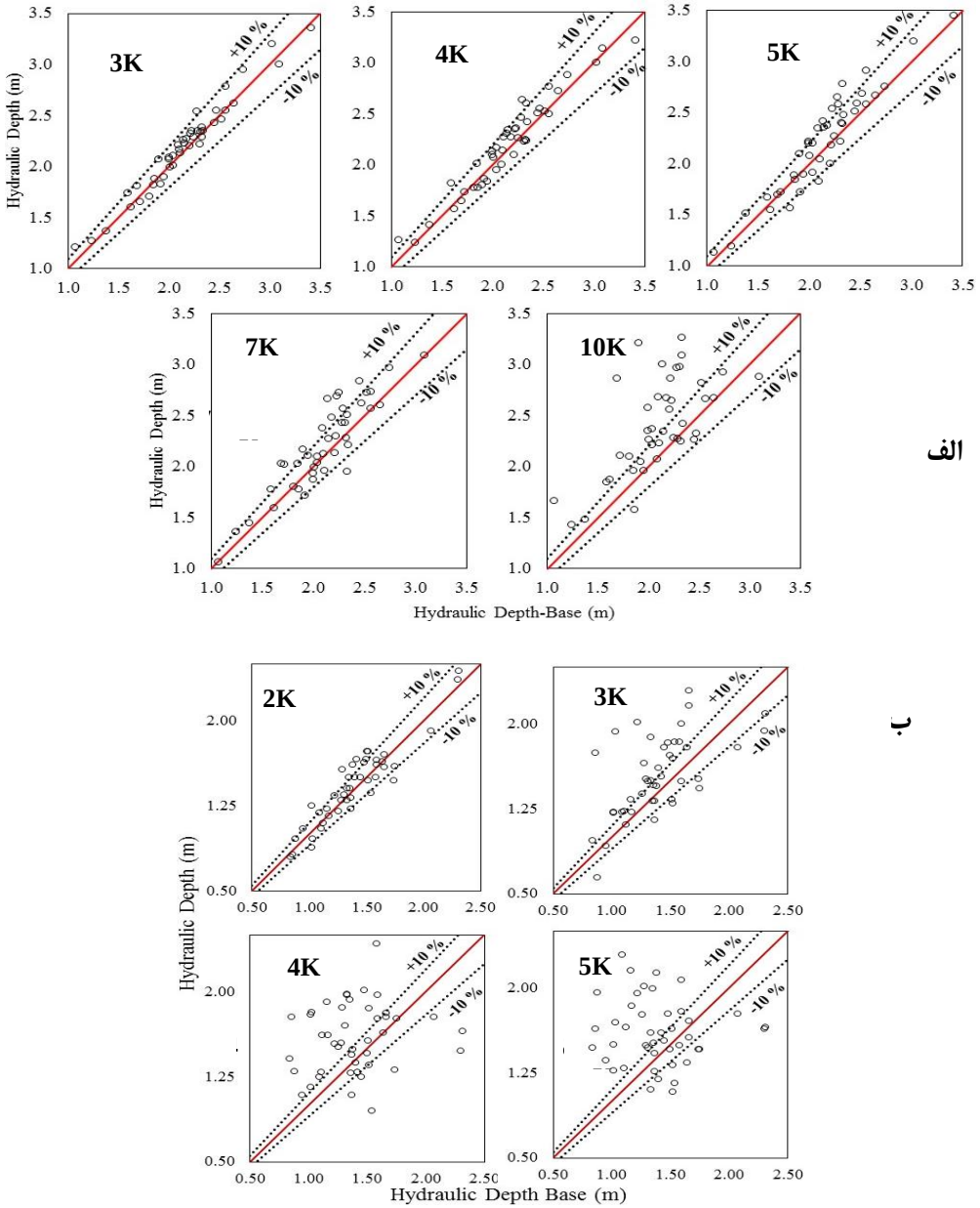
شکل ۵. تأثیر مقیاس نقشه بر پهنه سیلاب (رودخانه سجاس‌رود)

در شکل (۶) نیز اثر مقیاس نقشه توپوگرافی بر مقادیر عمق هیدرولیکی جریان در رودخانه‌های سرباز و سجاس‌رود نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، در رودخانه سرباز تا مقیاس 5K و حتی 7K مقادیر عمق هیدرولیکی شبیه‌سازی در مقاطع عرضی رودخانه نسبت به مقادیر متناظر بدست آمده بر اساس نقشه مبنا (نقشه 2K) عمدتاً در محدوده اختلاف ±10 قرار می‌گیرند. هر چند لازم به ذکر است که در صورت استفاده از نقشه‌های 5K و 7K به ترتیب در حدود ۷ و ۱۵ درصد از مقاطع عرضی مورد بررسی خارج از محدوده مجاز ±10، قرار می‌گیرند. لذا جهت اطمینان از عملکرد مدل هیدرولیکی در شبیه‌سازی عمق هیدرولیکی می‌توان به جای استفاده از نقشه 2K از نقشه 5K که دارای هزینه تهیه به مراتب کمتری است، استفاده نمود. همچنین طبق نتایج بدست آمده در رودخانه سجاس‌رود در صورت استفاده از نقشه 2K به جای نقشه مبنا (1K)، در بیش از ۹۳ درصد مقاطع مورد بررسی میزان اختلاف در محدوده مجاز ±10 قرار می‌گیرد. به عبارت

دیگر با صرف تنها ۲۵ درصد از هزینه تهیه نقشه ۱/۱۰۰۰ می‌توان به نتایج مشابه به آن رسید. بر خلاف رودخانه سرباز، در رودخانه سجاس با افزایش مقیاس نقشه توپوگرافی از 2K به بالا اختلاف بسیار زیادی بین خروجی مدل هیدرولیکی یک‌بعدی و نتایج بدست آمده از نقشه مبنا ایجاد می‌گردد و لذا در این رودخانه مقیاس 2K از نظر هیدرولیکی و اقتصادی مناسب‌ترین مقیاس ارزیابی می‌شود.

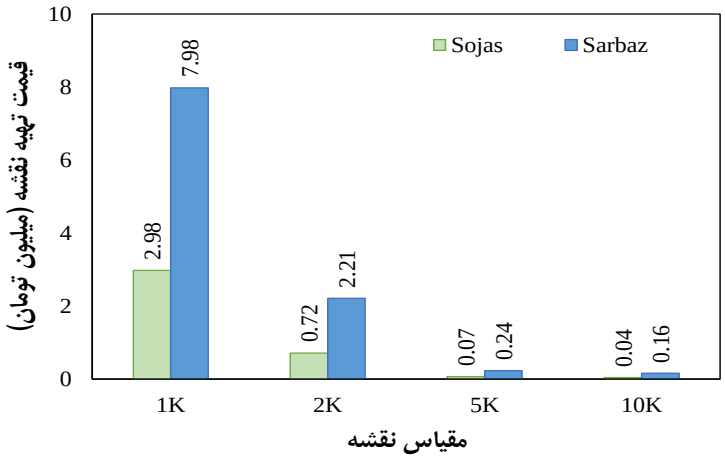
اثر مقیاس نقشه بر هزینه برداشت نقشه توپوگرافی

در شکل (۷) نیز هزینه موردنیاز برای برداشت یک نقشه به طول یک کیلومتر در مقیاس‌های مختلف برای رودخانه‌های مورد بررسی نشان داده شده است. همچنین لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر برای محاسبه هزینه تهیه نقشه توپوگرافی از آئین‌نامه خدمات نقشه‌برداری کشور که در سال ۱۳۹۶ به روز رسانی شده، استفاده بعمل آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد با کاهش مقیاس نقشه، هزینه تهیه یک کیلومتر از نقشه توپوگرافی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. به عنوان مثال، هزینه موردنیاز برای برداشت یک کیلومتر از نقشه توپوگرافی با مقیاس 2K در رودخانه سجاس‌رود (با پهنای باندی به عرض ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر) به طور متوسط در حدود ۷۷ درصد کمتر از هزینه تهیه یک نقشه با مقیاس 1K می‌باشد. کاهش ۷۷ درصدی هزینه برداشت نقشه 2K در برابر عملکرد آن در شبیه‌سازی پهنه سیلاب رودخانه سجاس‌رود که منجر به ایجاد کمتر از ۱۰ درصد اختلاف می‌گردد، به خوبی اهمیت انتخاب مقیاس نقشه را مشخص می‌نماید.



شکل ۶. تأثیر مقیاس نقشه بر عمق هیدرولیکی جریان در مقاطع عرضی مختلف (الف) رودخانه سرباز، (ب) رودخانه سجاس‌رود

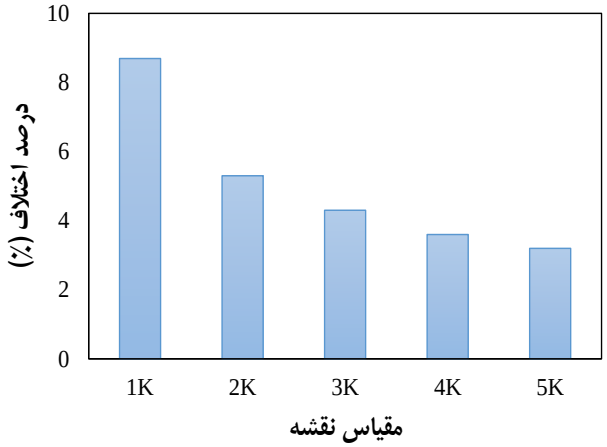
همچنین در رودخانه سرباز که نسبت به رودخانه مذکور بسیار عریض می‌باشد، استفاده از یک نقشه 5K به جای نقشه مبنا (نقشه 2K) علاوه بر کاهش میزان هزینه‌ها تا ۸۹ درصد تنها موجب ایجاد ۷/۸ درصد اختلاف در پهنه سیلاب شبیه‌سازی شده در طول بازه مطالعاتی (بیش از ۱۳ کیلومتر) می‌گردد. نتایج بدست آمده به خوبی گویای این مطلب است که بایستی بازبینی اساسی در آئین‌نامه‌های نقشه‌برداری مرتبط با مهندسی رودخانه و نیز نوع نقشه‌های توپوگرافی موردنیاز در مطالعات هیدرولیکی صورت پذیرد.



شکل ۷. هزینه موردنیاز برای تهیه یک کیلومتر نقشه با مقیاس‌های مختلف در رودخانه‌های سرباز و سجاس‌رود

اثر مقیاس نقشه بر میزان اختلاف بین عملکرد مدل‌های یک و دوبعدی

در این پژوهش علاوه بر مدل‌سازی یک‌بعدی از مدل دوبعدی HEC-RAS 5.0.3 نیز برای بررسی اثر مقیاس استفاده شده است. نتایج بدست آمده در رودخانه سجاس‌رود نشان می‌دهد که در مقیاس‌های بزرگ مانند نقشه 1K، متوسط اختلاف بین مدل یک‌بعدی و دوبعدی در برآورد پهنه سیلاب در مقاطع عرضی مختلف رودخانه در حدود ۸/۷ درصد می‌باشد که این اختلاف با کاهش مقیاس نقشه بسیار کاهش می‌یابد (شکل ۸). به عنوان مثال در مقیاس‌های 4K و 5K متوسط اختلاف بین عملکرد دو مدل به کمتر از ۴ درصد می‌رسد و این خود به خوبی گویای این مطلب است که در نقشه‌های با مقیاس کوچک، انتخاب نوع مدل هیدرولیکی (یک‌بعدی و یا دوبعدی) برای برآورد پارامترهای هیدرولیکی سیلاب از اهمیت زیادی برخوردار نمی‌باشد. لذا در مواردی که نقشه‌های با مقیاس بزرگی در اختیار نمی‌باشد می‌توان از مدل‌های یک‌بعدی که دارای ساختار به مراتب ساده‌تری هستند استفاده نمود. همچنین در رودخانه سرباز و در مقیاس‌های 2K و 3K متوسط اختلاف بین پهنه سیلاب بدست آمده از مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی به ترتیب در حدود ۴/۱ و ۳/۲ درصد می‌باشد. در این رودخانه نیز با کاهش مقیاس نقشه اختلاف بین دو مدل عددی در برآورد پارامترهای هیدرولیکی تا حد قابل توجهی کاهش یافته به طوری که در مقیاس‌های بالاتر از 5k این اختلاف به زیر ۱ درصد می‌رسد.

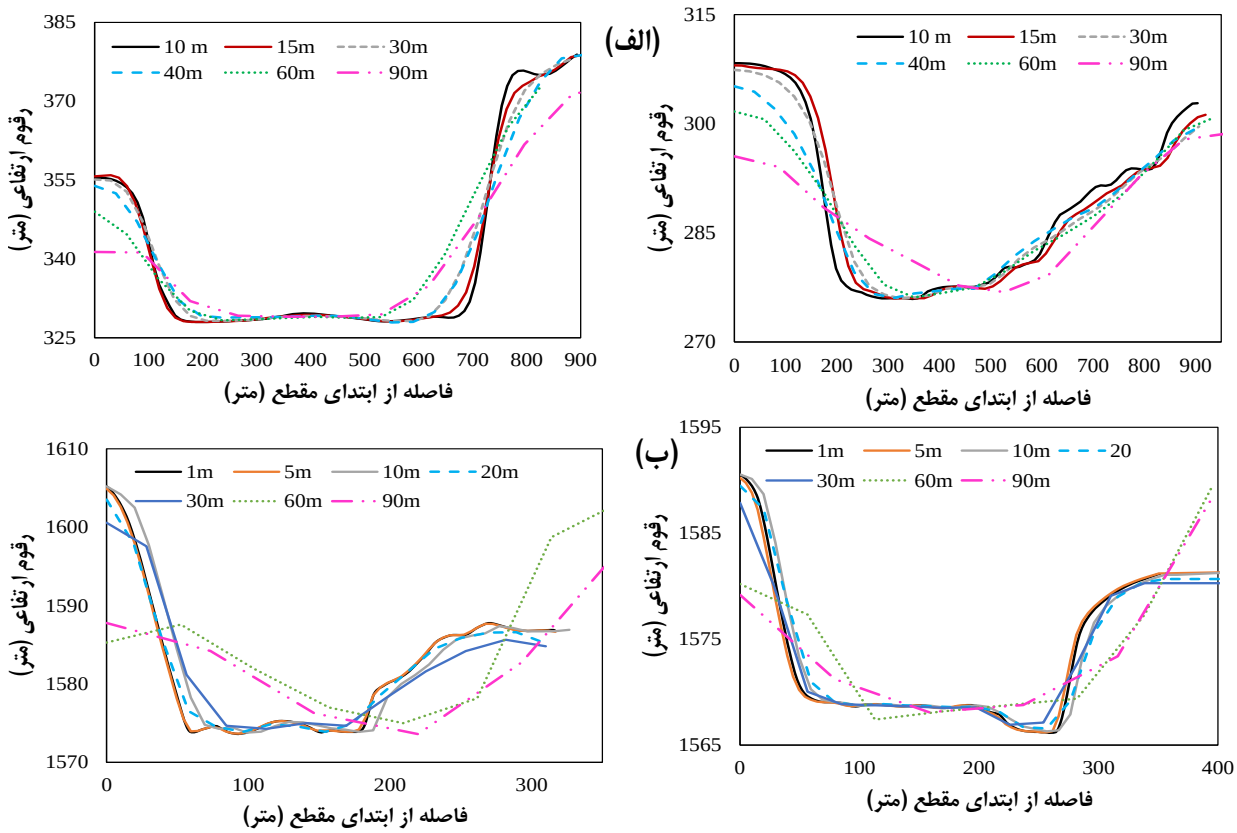


شکل ۸. اثر مقیاس نقشه توپوگرافی بر میزان اختلاف مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی در برآورد پهنه سیلاب (رودخانه سجاس‌رود)

اثر توان تفکیک مدل رقومی ارتفاعی بر کیفیت مقاطع عرضی و پارامترهای هیدرولیکی

یکی از مهم‌ترین عواملی که بر کیفیت یک DEM تأثیرگذار می‌باشد، توان تفکیک (ابعاد سلولی) مورد استفاده برای تهیه آن می‌باشد. با کاهش توان تفکیک DEM (افزایش ابعاد سلولی) شکل هندسی رودخانه موردنظر از واقعیت موجود فاصله گرفته و منجر به ایجاد خطا در مشخصات هندسی و همچنین خروجی مدل‌های هیدرولیکی خواهد گردید. سؤالی که در اینجا مطرح می‌باشد این است که ابعاد سلول یک DEM را تا چه حدی می‌توان افزایش داد به‌طوری‌که مشخصات هندسی و هیدرولیکی

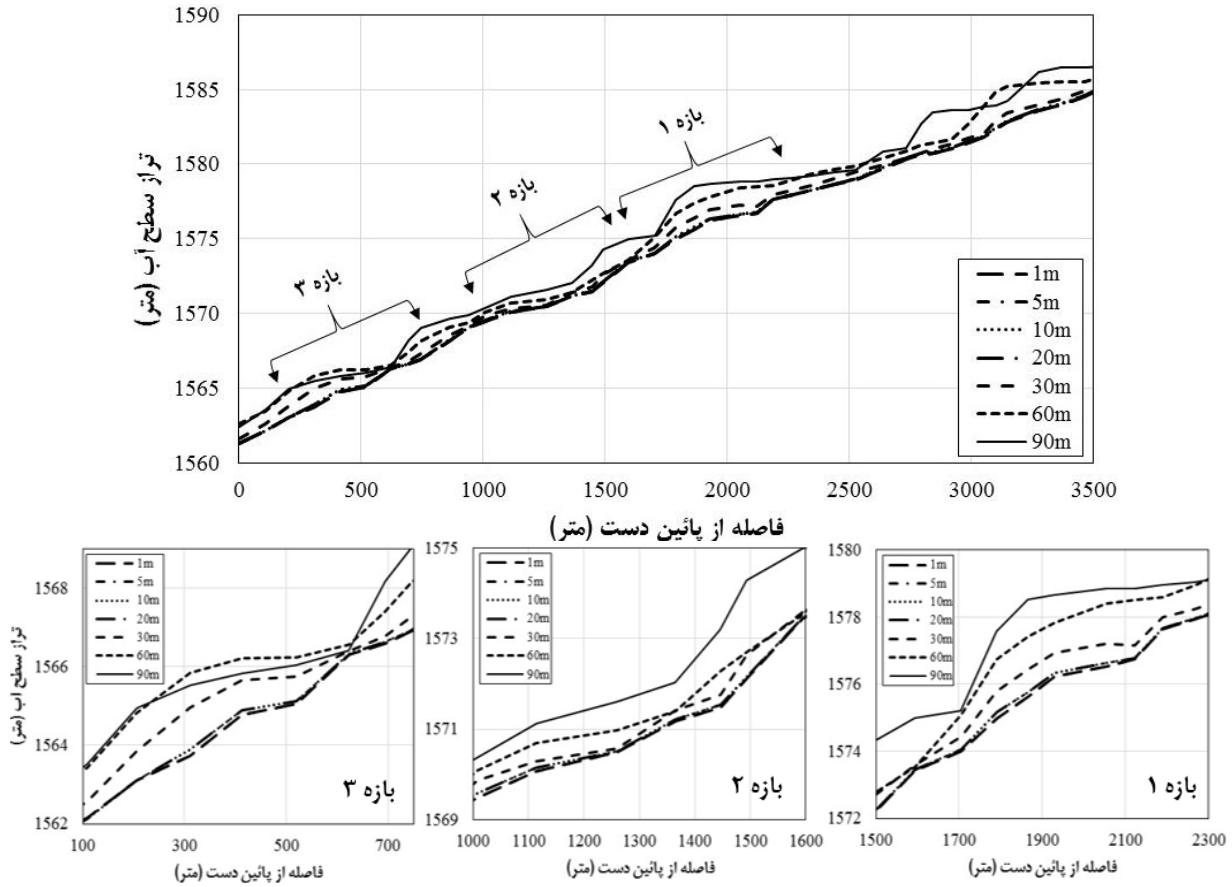
جریان دستخوش تغییر معنی‌داری نشود. برای پاسخ به این سؤال ابتدا از روی نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱/۱۰۰۰ (رودخانه سجاس‌رود) و ۱/۲۰۰۰ (رودخانه سرباز) مدل رقومی ارتفاعی با ابعاد سلولی ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ متر ایجاد و سپس مدل هندسی موردنیاز مدل HEC-RAS 4.1 استخراج گردید. مهمترین پارامترهایی که جهت بررسی اثر توان تفکیک DEM مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته عبارتنداز: شکل مقاطع عرضی رودخانه، پهنه سیلاب (عرض سطح آب) و پروفیل طولی سیلاب. یکی از علل اصلی انتخاب این پارامترها اهمیت و جایگاه آنها در مطالعات هیدرولیکی و مهندسی رودخانه می‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس 1K و 2K برای ساخت DEMهای مبنا در دو رودخانه سجاس‌رود و سرباز استفاده بعمل آمده است. در شکل (۹) اثر توان تفکیک DEM بر شکل مقاطع عرضی رودخانه سجاس‌رود و سرباز نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده است، با افزایش توان تفکیک DEM شکل مقاطع عرضی دستخوش تغییر شده و همچنین رقوم کف رودخانه نیز افزایش می‌یابد. در ابعاد سلول بالا اعمال فرآیند متوسط‌گیری موجب از بین رفتن بسیاری از جزئیات توپوگرافی رودخانه شده و همین مسئله منجر به ایجاد خطاهای معنی‌داری در مدل هندسی می‌گردد. نکته قابل توجه در مورد عمده مقاطع مورد بررسی، کاهش ارتفاع سواحل رودخانه می‌باشد که به خوبی اثر توان تفکیک DEM را بر مشخصات هندسی رودخانه نشان می‌دهد. افزایش تراز بستر رودخانه و همچنین کاهش ارتفاع سواحل رودخانه موجب افزایش تراز سطح آب و همچنین پهنه سیلاب خواهند گردید که در بخش بعدی به تفصیل به این مورد پرداخته شده است.



شکل ۹. اثر توان تفکیک مدل رقومی ارتفاعی بر کیفیت مقاطع عرضی (الف) رودخانه سرباز، (ب) رودخانه سجاس‌رود

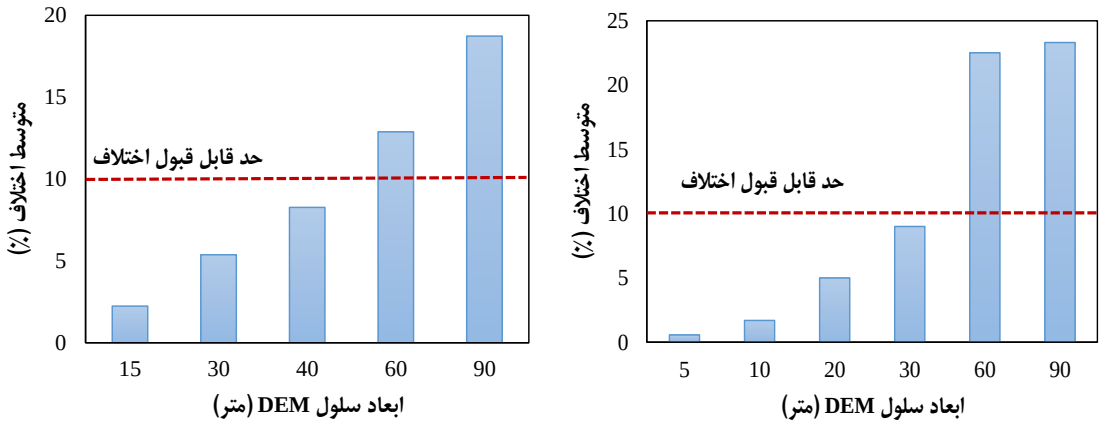
در شکل (۱۰) نیز اثر توان تفکیک DEM بر پروفیل طولی سطح آب در بازه‌های مختلف رودخانه سجاس‌رود نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده است، تغییر توان تفکیک مدل رقومی ارتفاعی تأثیر قابل توجهی بر مقادیر تراز سطح آب در بازه‌های مختلف رودخانه دارد. علی‌رغم اینکه در برخی از بازه‌ها DEMهای ۶۰ و ۹۰ متری منجر به محاسبه مقادیر زیادی برای تراز سطح آب شده‌اند، اما محاسبات انجام شده نشان می‌دهد که تا ابعاد سلولی ۹۰ متر

متوسط اختلاف بین تراز سطح آب شبیه‌سازی شده نسبت به مقادیر بدست آمده از DEM یک متری در طول کل بازه مطالعاتی کمتر از ۷/۵ درصد می‌باشد. همچنین در ابعاد سلولی ۶۰ و ۳۰ متر نیز مقدار این اختلاف به ترتیب به ۵/۶ و ۳/۳ درصد محدود می‌گردد. نتایج مزبور حاکی از آن است که اگرچه با افزایش توان تفکیک DEM تراز سطح آب افزایش می‌یابد اما این افزایش چندان معنی‌دار نبوده و رقوم سطح آب شبیه‌سازی شده از حساسیت و وابستگی زیادی به ابعاد سلول DEM برخوردار نمی‌باشد. به عبارت بهتر چنانچه هدف مدل‌سازی هیدرولیکی تنها برآورد تراز سطح آب باشد، توان تفکیک از اهمیت بالائی برخوردار نمی‌باشد و لذا می‌توان از مدل‌های رقومی با ابعاد سلولی بزرگ‌تر نیز استفاده نمود. همچنین لازم به ذکر است که در رودخانه سرباز افزایش تراز سطح آب در اثر کاهش توان تفکیک DEM چندان قابل توجه نبود و در عمده مقاطع مورد بررسی میزان اختلاف نتایج با خروجی‌های بدست آمده از DEMهای با توان تفکیک بالا کمتر از ۲ درصد می‌باشد و به همین علت از ارائه نمودارهای مربوط به این رودخانه خودداری شد. به عبارت بهتر در رودخانه‌های عریض با مقطع U شکل، اهمیت توان تفکیک DEM در برآورد تراز سطح آب چندان قابل توجه نبوده و می‌توان در چنین رودخانه‌هایی از DEMهای با توان تفکیک پائین نیز استفاده نمود. البته ذکر این نکته ضروری است که بر خلاف تراز سطح آب، عمق متوسط جریان محاسباتی نسبت به توان تفکیک DEM حساس بوده، به طوری که با افزایش ابعاد سلول DEM میزان اختلاف بین عمق بدست آمده با نتایج حاصل از DEM مبنا (DEM بدست آمده از نقشه‌های با مقیاس 1K و در ابعاد سلولی یک متر) افزایش چشم‌گیری پیدا می‌کند. به عنوان مثال در رودخانه سجاس‌رود، برای DEMهای با ابعاد سلولی کمتر از ۳۰ متر متوسط اختلاف در برآورد عمق جریان در طول بازه مدل‌سازی به کمتر از ۱۵ درصد محدود می‌گردد و این در حالی است که برای DEMهای با ابعاد سلولی بزرگ‌تر از ۳۰ متر این میزان اختلاف تا حدود ۲۹/۷ درصد نیز افزایش می‌یابد. لذا توصیه می‌شود به هنگام طراحی سازه‌هایی مانند پل‌ها، سرریزها و یا بندهای انحرافی از DEMهای با توان تفکیک بالا برای مدل‌سازی جریان استفاده شود، زیرا DEMهای با ابعاد سلولی بالا منجر به بروز خطای بسیار قابل توجهی در عمق جریان خواهند شد.



شکل ۱۰. اثر توان تفکیک DEM بر پروفیل سطح آب (رودخانه سجاس)

در شکل (۱۱) نیز متوسط اختلاف در پهنه سیلاب بدست آمده از ابعاد سلولی مختلف نسبت به DEM با ابعاد سلولی ۱ متر برای رودخانه‌های سجاس‌رود و سرباز نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، در رودخانه سجاس‌رود و سرباز تا ابعاد سلولی ۳۰ متر عملکرد مدل HEC-RAS در شبیه‌سازی پهنه سیلاب به ترتیب اختلافی در حدود ۹ و ۴/۹ درصد نسبت به نتایج بدست آمده از DEMهای مبنا دارند. با کاهش توان تفکیک مدل رقومی ارتفاعی، عملکرد مدل هیدرولیکی در هر دو رودخانه دستخوش تغییرات زیادی شده به طوری که در ابعاد سلولی ۶۰ متری میزان اختلاف بین پهنه سیلاب شبیه‌سازی شده نسبت به نتایج DEM مبنا برای رودخانه‌های سجاس‌رود و سرباز به ترتیب در حدود ۲۳ و ۱۳/۵ درصد می‌باشد. نکته قابل توجه دیگری که از شکل (۱۱) می‌توان برداشت نمود این است که اثر توان تفکیک مدل رقومی ارتفاعی در رودخانه کوچک به مراتب بیشتر می‌باشد و لذا به هنگام مدل‌سازی هیدرولیکی در چنین رودخانه‌هایی بایستی توجه بیشتری به کیفیت DEM مورد استفاده صورت پذیرد. نتایج بدست آمده به خوبی نشان می‌دهد که اثر توان تفکیک یک مدل رقومی ارتفاعی تا چه اندازه می‌تواند بر پارامترهای هیدرولیکی سیلاب تأثیرگذار باشد. نکته دیگری که می‌توان از شکل (۱۱) برداشت نمود این است که همواره DEMهای با ابعاد سلولی کوچک به معنای افزایش دقت داده‌های هندسی و متعاقب آن عملکرد بالای مدل‌های هیدرولیکی نمی‌باشد و حتی می‌توان از DEMهایی با توان تفکیک کمتر استفاده و در عین حال کمترین تغییرات را بر خروجی مدل (هیدرولیکی یا هیدرولوژیکی) تحمیل نمود. به عنوان مثال در رودخانه سجاس‌رود استفاده از توان تفکیک ۲۰ متر نسبت به یک متر، اختلافی کمتر از ۵ درصد در پهنه سیلاب شبیه‌سازی ایجاد می‌نماید. نتایج بدست آمده به خوبی نشان می‌دهد که به جای استفاده از نقشه‌های بزرگ مقیاس که نیازمند هزینه بالایی هستند، از نقشه‌های با مقیاس و کیفیت پائین‌تر می‌توان استفاده و در عین حال کمترین تغییرات را بر پارامترهای هیدرولیکی تحمیل نمود.



شکل ۱۱. متوسط اختلاف در پهنه سیلاب شبیه‌سازی در ابعاد سلولی مختلف نسبت به نتایج DEM مبنا (الف) رودخانه سجاس‌رود، (ب) رودخانه سرباز

بحث و نتیجه‌گیری

در ساختار مدل‌های هیدرولیکی، مدل هندسی سطح زمین از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد. یکی از مهم‌ترین روش‌های معرفی هندسه رودخانه استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEMs) با ساختار رستری می‌باشد. از جمله مهم‌ترین عواملی که بر دقت و صحت یک DEM تأثیرگذار هستند می‌توان به توان تفکیک (ابعاد سلولی) و مقیاس نقشه مورد استفاده برای ساخت DEM آن اشاره نمود. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی میزان حساسیت مدل هیدرولیکی HEC-RAS نسبت به نقشه‌های با مقیاس مختلف و همچنین DEMهای با توان تفکیک مختلف در دو رودخانه سجاس‌رود و سرباز به انجام رسیده است. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که استفاده از نقشه‌های کوچک مقیاس به جای نقشه‌های بزرگ مقیاس مانند 1K و 2K خطای کمی در خروجی مدل هیدرولیکی ایجاد نموده و از سوی دیگر هزینه تهیه نقشه توپوگرافی را تا حد قابل توجهی کاهش می‌دهد. به عنوان مثال در رودخانه سرباز استفاده از نقشه 5K به جای 2K تنها موجب ایجاد ۷ درصد خطا در پهنه سیلاب می‌شود و این در حالی است که هزینه برداشت نقشه در حدود ۸۹ درصد کاهش یافته است. یافته‌های این تحقیق به خوبی نشان می‌دهد که در حوضه‌های فاقد آمار و یا پروژه‌هایی که با کمبود منابع مالی روبرو هستند، می‌توان از نقشه‌های کوچک مقیاس استفاده و در عین حال دقت قابل

قبولی را از خروجی مدل هیدرولیکی دریافت نمود. استفاده از چنین نقشه‌هایی علاوه بر کاهش هزینه‌ها، مدت زمان موردنیاز برای تهیه نقشه و متعاقب آن انجام مطالعات مهندسی (به ویژه در فاز یک) را نیز کاهش خواهد داد. با از بین بردن شکاف موجود بین مهندسین نقشه‌بردار و مهندسین هیدرولیک می‌توان از هدر رفت منابع مالی بسیار زیاد به ویژه در رودخانه‌های عریض و با طول زیاد، جلوگیری نمود.

ارزیابی اثر توان تفکیک DEM بر پارامترهای هیدرولیکی سیلاب در دو رودخانه سرباز و سجاس‌رود نیز حاکی از آن است که کاهش توان تفکیک DEM موجب افزایش تراز بستر رودخانه و همچنین کاهش رقوم ارتفاعی سواحل رودخانه شده و همین مسئله موجب افزایش تراز سطح آب و نیز پهنه سیلاب گردیده است. البته لازم به ذکر است که میزان تأثیر توان تفکیک DEM بر رقوم سطح آب بسیار کمتر از تأثیر آن بر پهنه سیلاب می‌باشد. به عبارت بهتر چنانچه هدف مدل‌سازی هیدرولیکی تنها برآورد تراز سطح آب باشد، توان تفکیک از اهمیت بالائی برخوردار نمی‌باشد و لذا می‌توان از مدل‌های رقومی با ابعاد سلولی بزرگ‌تر نیز استفاده نمود. در راستای تکمیل این پژوهش کاربردی توصیه می‌شود مواردی همچون ارزیابی میزان حساسیت مدل‌های دوبعدی متوسط‌گیری شده در عمق مانند CCHE2D نسبت به مقیاس نقشه، ارزیابی کارائی مدل‌های رقومی ارتفاعی مبتنی بر سنجش از دور در مدل‌سازی هیدرولیکی سیلاب (به ویژه در حوضه‌های فاقد آمار و یا پروژه‌هایی که با کمبود منابع مالی روبرو هستند) و نیز ارزیابی تأثیر مقیاس نقشه‌های توپوگرافی بر هیدرولیک جریان در مناطق پرشیب کوهستانی و کم شیب دشتی، مورد بررسی و پژوهش قرار گیرند.

REFERENCES

Aguilar, F. J., Mills, J. P., Delgado, J., Aguilar, M. A., Negreiros, J. G., and Pérez, J. L. (2010). Modelling vertical error in LiDAR-derived digital elevation models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(1), 103–110.

Azizian, A. and Shokoohi, A.R. (2015a). Effects of Data resolution and stream delineation threshold effects on the results of a Kinematic Wave based GIUH model. *Journal of Water S.A*, 4(9), 61-70.

Azizian, A. and Shokoohi, A.R. (2015b). Investigation of the Effects of DEM Creation Methods on the Performance of a Semi distributed Model: TOPMODEL. *Journal of Hydrologic. Engineering*, 20(11), 05015005(1-9).

Brandt, S. (2005). Resolution issues of elevation data during inundation modeling of river floods. In Proceedings of *XXXI International Association of Hydraulic Engineering and Research Congress (IAHR)*, pp. 3573–3581.

Casas, A., Benito, G., Thorndycraft, V.R. and Rico, M. (2006). The topographic data source of digital terrain models as a key element in the accuracy of hydraulic flood modelling. *Earth Surf. Proc. Land*, 31, 444–456.

Chaplot, V., Darboux, F., Bourennane, H., Leguédois, S., Silvera, N. and Phachomphon, K. (2006). Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density. *Geomorphology*, 77(1-2), 126–141.

Cook, A. and Merwade, V. (2009). Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. *J. Hydrol*, 377, 131–142.

Darnell, A. R., Tate, N. J. and Brunsdon, C. (2008). Improving user assessment of error implications in digital elevation models. *Computers, Environment and Urban Systems*, 32(4), 268–277.

Fisher, P. F. and Tate, N. J. (2006). Causes and consequences of error in digital elevation models. *Progress in Physical Geography*, 30(4), 467–489.

Gonga-Saholiariliva, N., Gunnell, Y., Petit, C. and Mering, C. (2011). Techniques for quantifying the accuracy of gridded elevation models and for mapping uncertainty in digital terrain analysis. *Progress in Physical Geography*, 35(6), 739–764.

Haile, A. and Rientjes, T. (2005). Effects of LiDAR DEM Resolution in Flood Modelling: A Model Sensitivity Study for the City of Tegucigalpa, Honduras. ISPRS WG III/3, III/4 V/3 Workshop Laser Scanning, 168–173.

Heritage, G. L., Milan, D. J., Large, A. R. G., and Fuller, I. C. (2009). Influence of survey strategy and interpolation model on DEM quality. *Geomorphology*, 112(3-4), 334– 344.

Hodgson, M. E., Jensen, J. R., Schmidt, L., Schill, S., and Davis, B. (2003). An evaluation of LIDAR- and IFSAR-derived digital elevation models in leaf-on conditions with USGS Level 1 and Level 2 DEMs. *Remote Sensing of Environment*, 84(2), 295–308.

Laks, I., Sojka, M., Walczak, Z. and Wró˙zyn´ski, R. (2017). Possibilities of Using Low Quality Digital Elevation Models of Floodplains in Hydraulic Numerical Models. *Water*, 9, 283-300.

Moya, Q., Popescu, V., Solomatine, I. and Bociort, L. (2013). Cloud and cluster computing in uncertainty analysis of integrated flood models. *Journal of Hydro informatics*, 15, 55–69.

Merwade, V., Du, L. and Sangwan, N. (2015). Creating a national scale floodplain map for the United States using soil information. In: Abstract H51E-1420 presented at *the 2015 fall meeting, December 2015. AGU*, San Francisco, Calif., pp.

14-18.

Saksena, S. and Merwade, V. (2015). incorporating the effect of DEM resolution and accuracy for improved flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*, 530, 180–194.

Sanders, B.F. (2007). Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling. *Advances in Water Resources*, 30 (8), 1831–1843.

Schumann, G., Matgen, P., Cutler, M.E.J., Black, A., Hoffmann, L. and Pfister, L. (2008). Comparison of remotely sensed water stages from LiDAR, topographic contours and SRTM. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sensing*, 63 (3), 283–296.

Smith, S., Holland, D. and Longley, P. (2004). The importance of understanding error in LIDAR digital elevation models. *Proceedings of XXth ISPRS*.

Tarekegn, T.H., Haile, A.T., Rientjes, T., Reggiani, P. and Alkema, D. (2010). Assessment of an ASTER generated DEM for 2D flood modelling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo information*, 12, 457–465.

US Army Corps of Engineers (2010) HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Version 4.1. *Hydrologic Engineering Center*, Davis, California, 411p.

Vaze, J., Teng, J. and Spencer, G. (2010). Impact of DEM accuracy and resolution on topographic indices. *Environmental Modelling Software*, 25, 1086–1098.

Werner, M.G.F. (2001). Impact of grid size in GIS based flood extent mapping using 1-D flow model. *Journal of Physics and Chemistry of the Earth (B)*, 26, 517–522.

Wilson, M.D. and Atkinson, P.M. (2005). The use of elevation data in flood inundation modelling: a comparison of ERS interferometric SAR and combined contour and differential GPS data. *International. Journal of River Basin Management*, 3, 3–20.